有機質肥料在強酸性土壤之施用策略

陳仁炫

國立中興大學土壤環境科學系

前 言

近年來由於集約耕作及產酸化肥長期施用的結果，本省土壤酸化之面積有逐漸擴大的現象。據農試所調查結果顯示，本省耕地及山坡地面積中約近 52%爲強酸性土壤(*pH < 5.5*)，故強酸性土壤已成爲本省面積最大的問題土壤(連，1991)。除了鋁或錳毒害的可能性外，強酸性土壤本身所具有的強磷固定能力及低肥力特性，往往會抑制作物的生長，進而影響作物的產量及品質。在規劃地力增進及土壤永續利用的今日，強酸性土壤的改良實爲首要之途。

栽種耐酸作物，客土，加重肥料施用，施用有機質肥料及施用石灰質材等方法均爲曾被推薦作爲適應或改良強酸性土壤生產力的對策，其中又以石灰和有機質施用爲效果較佳且較持久的對策。土壤有機質具有改良物理，化學及生物性的功能(Fellet et al., 1987)，且利用於作物耕作管理，並爲作物營養要素之貯藏庫，因此其含量的多寡可視爲作物肥力的指標(Smith et al., 1977)。有機質肥料的添加除可直接增加土壤有機質含量外，且在土壤改良上具有多重改良效應。作者曾針對以石灰施用或有機質肥料的添加在增進強酸性土壤生產力之效應及其衍生之土壤問題進行一序列的研究。茲謹就作者針對有機質肥料施用於強酸性土壤之相關研究的成果與結論彙整如下，以供參考。

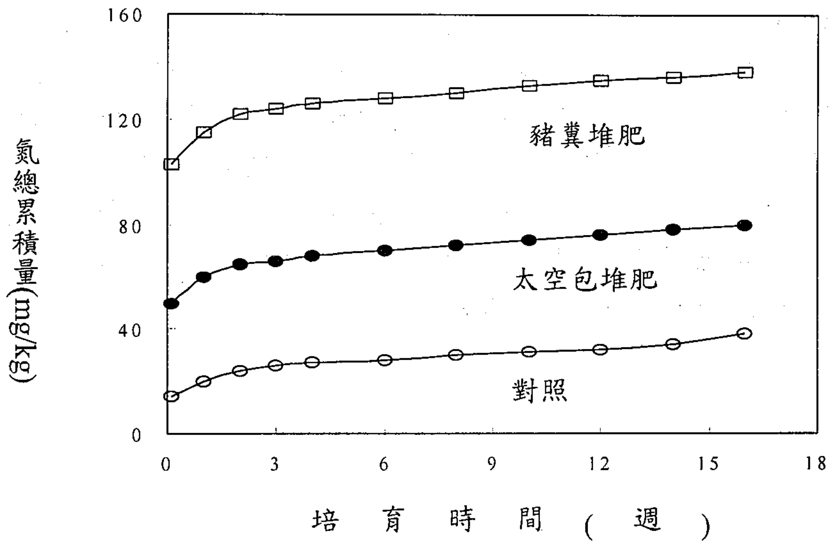
一、堆肥施用對強酸性土壤氮有效性及氮礦化作用的影響

在以有機質肥料的施用來增進強酸性土壤生產力的對策下，其所造成氮在土壤中有效性的改變及礦化和生物固定化作用的消長，應予以評估與探討，以尋求建立有效的有機質肥料管理方針。作者(陳和李，1997)曾選取大肚山及關西兩種強酸性土壤，依土壤之磷固定能力的強弱，分別添加不同量的豬糞及金針菇太空包堆肥，且在不同的時間（第

0,1,2,3,4,6,8,10,12,14,16 週)測定氮有效性指標的變化。實驗結果顯示，金針菇太空包堆肥及豬糞堆肥的添加均能增進土壤中氮的有效性，且在各培育期中，施用豬糞堆肥處理的全氮含量，淨礦化氮累積量(圖一)及礦化潛勢(表一)均較施用金針菇太空包堆肥者高，此乃因豬糞堆肥的氮含量及易礦化的含氮基質較多，致使其具有較高的礦化潛能及礦化速率所致。由此推知，以氮礦化及供應潛勢來研判，在強酸性土壤所施用之堆肥宜選用氮含量及易礦化含氮較高之基質。

表一、以複合一次式評估強酸性土壤添加有機質肥料後之氮礦化潛能

	氮礦化潛能 (N_0) mg/kg
<u>大肚山</u>	
對照	19.1 ± 0.4
太空包堆肥(3%)	43.3 ± 0.6
豬糞堆肥(3%)	89.0 ± 0.2
<u>關西</u>	
對照	25.8 ± 2.7
太空包堆肥(6%)	56.4 ± 0.2
豬糞堆肥(6%)	89.4 ± 0.2

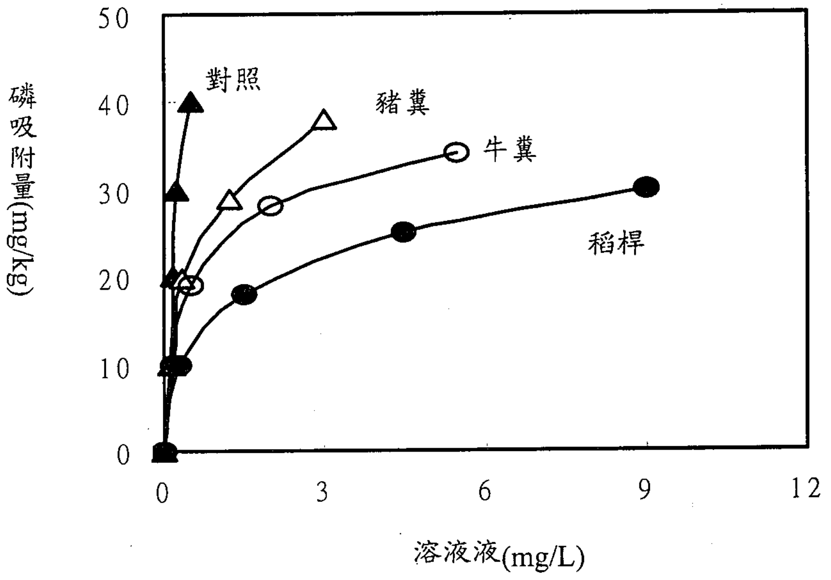


圖一、強酸性大肚山土壤添加豬糞或太空包堆肥後於培育期之淋出液中全氮累積量之變化

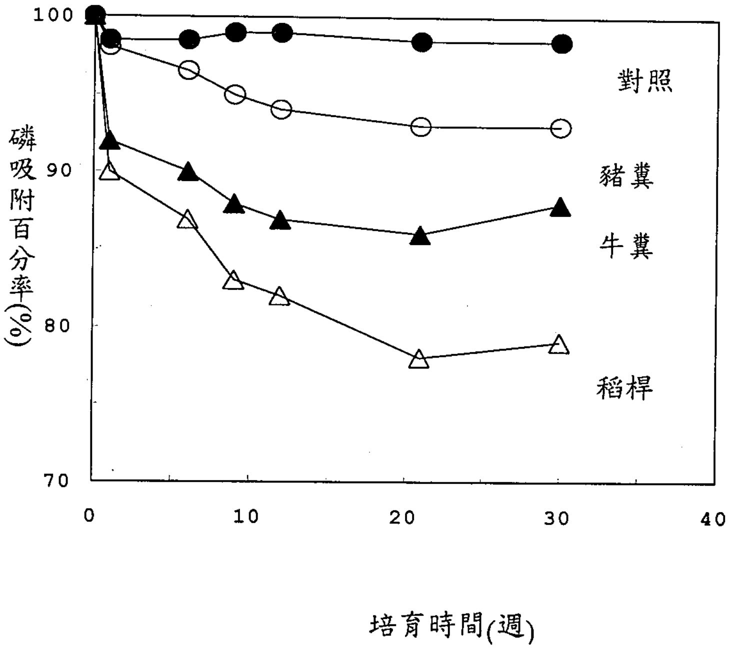
二、有機質肥料添加對強酸性土壤磷吸附特性之研究

無機磷在強酸性土壤中易被結晶及非結晶(amorphous)的鐵和鋁氧化物及氫氧化物所吸附(Sample and Racz, 1980; Tisdale et al., 1985; Kuo, 1990)。作者(陳，1993)曾探討本省七種強酸性土壤的磷吸附特性，結果顯示強酸性土壤之風化程度愈強者，其磷之吸附能力愈大。土壤對磷的吸附能力將因有機質肥料的添加而改變，繼而影響磷在土壤中的生物有效性。作者曾針對強酸性之臺中大肚山土壤，以 50 噸/公頃的施用量分別加入三種有機質肥料(牛糞堆肥、稻桿堆肥和豬糞堆肥)，置於室內培育溫度維持在 25℃，另設立對照組。嗣分別在第 1、3、6、9、12、21、30 週測定各處理對土壤無機磷吸附能力的影響(陳等人，1994)。結果顯示，施用三種堆肥均可降低土壤對無

機磷的吸附能力，因此具有降低後續施用之無機磷肥被土壤固定量之效果，其中又以添加稻稈堆肥之處理對降低土壤磷吸附量及磷吸附百分率的效應最大，牛糞堆肥次之，豬糞堆肥較差(圖二，圖三)，同時，本試驗證實堆肥質材中有機磷和無機磷含量愈高以及碳/有機磷比率愈低者，其顯現的降低效果愈佳。由此可知，堆肥施用於土壤中，可降低土壤對磷的吸附能力，因而可增進土壤磷有效性，及增進無機磷肥的利用率。堆肥之施用對土壤無機磷吸附能力的影響機制乃多重的，其中包括(1)有機酸或腐植酸與鐵、鋁或鈣形成複合物而減少磷被吸附的機會(Barrow, 1989; Dalton, et al., 1952)；(2)有機磷先占據吸附位置(Evans, 1985; 陳，1993)；(3)有機磷礦化釋出之無機磷或有機質肥料溶出之無機磷先占據吸附位置(陳，1993)；及(4)土壤 pH 的改變所導致土壤膠體之表面化學及電荷的變化....等。



圖二、強酸性大肚山土壤施用各供試堆肥後，對無機磷之吸附等溫

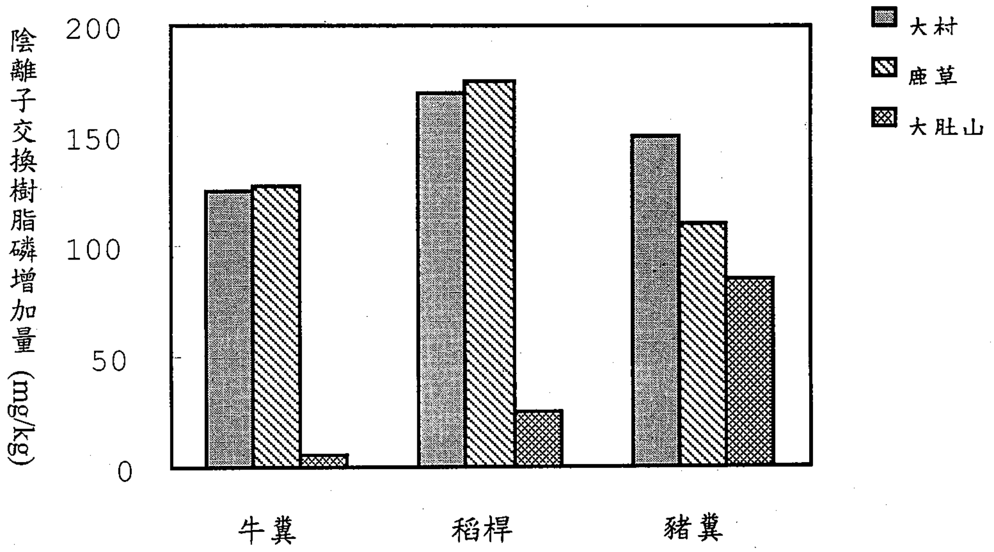


圖三、強酸性大肚山土壤在施用稻桿、牛糞及豬糞堆肥後，對添加之無機磷吸附百分率在不同培育時間之變化

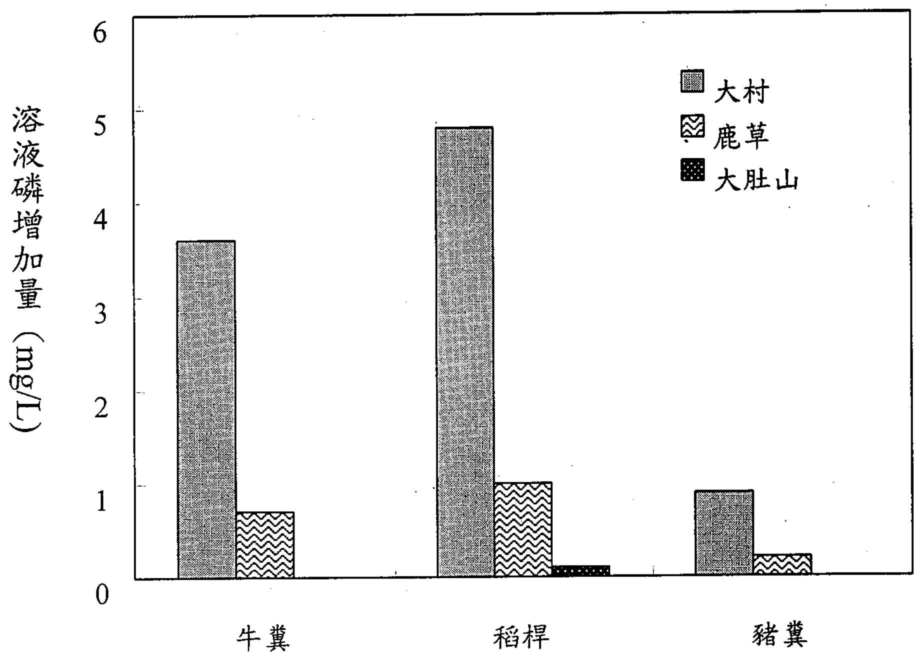
三、有機質肥料添加對強酸性土壤磷有效性的影響

在一般施用堆肥的舉措中，堆肥的施用量大都係以氮的需求量及氮在土壤中的礦化速率來估算，但未顧及磷之供應是否過多或不足(Olsen and Barber, 1977)。基於作物每年從堆肥中吸收磷的總百分率低於氮(Olsen and Barber, 1977)，而土壤對磷固定能力深深影響土壤有機磷的礦化量，因此在磷有效性低及磷固定能力強的土壤，以氮礦化速率或作物對氮需求所估算的堆肥用量，可能將無法滿足作物對磷的需求而影響作物生長。

作者(陳，1995)曾選取非強酸性的彰化大村和嘉義鹿草土壤和台中大肚山強酸性的土壤，分別以每公頃 50 公噸的劑量添加三種有機肥(牛糞、稻桿和豬糞堆肥)，置於室內培育(25℃)，另設一對照組。嗣分別在第 1、3、6、9、12、21 及 30 週測定土壤 pH、土壤溶液磷、陰離子交換樹脂磷及有機磷濃度之變化，



圖四、30 週堆肥培育後之供試土壤的陰離子交換樹脂磷濃度增加量



圖五、30 週堆肥培育期後之供試土壤的溶液磷濃度增加量

並分別由土壤有機磷、溶液磷和陰離子交換樹脂磷的濃度變化來估算其礦化速率並評估之。結果顯示，添加供試的三種堆肥均會增進土壤磷有效性，但強酸性大肚山土壤因磷固定能力較非強酸性的大村和鹿草土壤大，故其增進的程度較低(圖四、圖五)。對非酸性的嘉義鹿草和彰化大村土壤而言，在增進陰離子交換樹脂磷和溶液磷濃度的效應上以施用稻草堆肥者較佳，施用牛糞堆肥者次之，而以施用豬糞堆肥者較差，唯對磷固定能力較強的強酸性大肚山土壤而言，在增進土壤溶液磷、陰離子交換樹脂磷的效果則以豬糞堆肥最大，稻桿堆肥次之，而以牛糞堆肥較差。推測可能是豬糞堆肥在強酸性的大肚山土壤中經礦化或溶解出來的無機磷，除了被土壤固定量較大外，其餘之無機磷存於弱吸附之交換態的程度高於稻桿堆肥和牛糞堆肥者，由此可知，堆肥施入土壤後，其礦化釋出或溶解出來的無機磷進入溶液磷、交換態磷和固定態磷的比例，可能和堆肥質材成分的不同有關。本試驗的結果顯示有機質肥料中有機磷含量愈高以及碳/有機磷比例愈低者，在增進磷有效性及磷礦化作用的效果愈佳。作者的研究生曾評估金針菇太空包堆肥和豬糞堆肥施用於強酸性的大肚山和關西土壤之效果。結果亦顯示碳/有機磷比例較低之豬糞堆肥在增進土壤溶液磷 *Bray-1* 磷和 $NaHCO_3$-磷含量的效果較太空包堆肥佳，而磷固能力較強之關西土壤的增進程度不如大肚山土壤。

四、高磷堆肥在強酸性土壤之改良效應研究

強酸性土壤具有強固定磷之能力，作者曾發現以氮需求所估算的堆肥用量，當施於磷固定能力強之強酸性土壤後，生長中之作物仍會發生磷缺乏的現象而抑制作物的生長(陳，1995)。為解決此問題，作者曾以蛋雞糞堆肥配合磷礦石粉或骨粉的添加，而研製適合強酸性土壤施用之高磷堆肥，並評估其肥效及對作物生長與土壤改良之效應(陳，2000)。試驗結果顯示所製作之磷堆肥具磷含量高之特性，且成分均符合農委會公佈之禽畜糞堆肥之成分要求(表二)。盆栽試驗的結果顯示，高磷堆肥的添加能提升強酸性大肚山土壤之 pH 值、有機質含量、及氮、磷和鉀之有效性(表三)，且較以農委會作物施肥手冊中甘藍施肥推薦量之化肥處理者有較高之乾物重(圖六)，及氮和磷吸收量(表四)。由此可知，使用高磷堆肥再配合以作物氮需求為依

歸所估計之用量，不但可以改善強酸性土壤的生產力，且可避免因土壤本身強磷固定作用而造成磷供應不足之弊害。化肥處理之 Bray-1 磷含量只有 3 mg / kg，在一般肥力分級中乃屬極低等級，意謂磷有效性甚低，而施用高磷堆肥之土壤 Bray-1 磷高達 47 mg / kg，此值乃屬肥力分級之高量等級(表四)，顯示高磷堆肥之施用可大大提昇強酸性土壤之磷有效性。由此可知，爲兼顧氮和磷的適量供應，在強酸性土壤可利用高磷堆肥，而依作物之氮需求來估算其施用量。

表二、高磷雞糞堆肥成分分析

項目	A(加骨粉)	禽畜糞堆肥標準	B(加磷礦石粉)
pH	7.4		8.0
O.M %	55	> 40	54
N %	1.4	< 3.0	1.2
P_2O_5 %	6.0	< 6.0	5.3
K_2O %	4.7	< 5.0	3.1
Ca %	6.5		7.6
Mg %	0.57		0.57
Zn *mg/kg*	302	< 800	302
Cd *mg/kg*	1.6		2.7
Ni *mg/kg*	11		11
Cu *mg/kg*	55	< 100	53
Pb *mg/kg*	13		12

表三、甘藍盆栽試驗各處理於甘藍採收後之土壤有機質、全氮及 Bray-1 磷含量

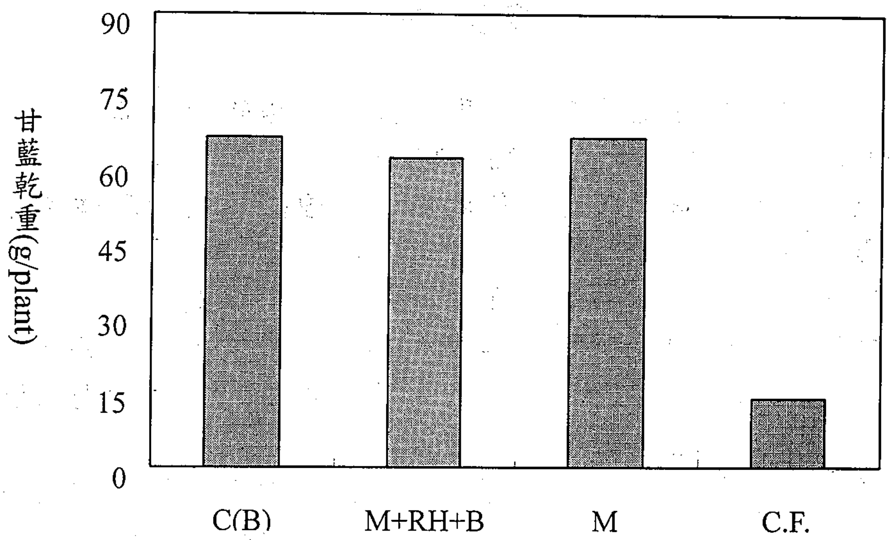
Treatment*	Organic matter (%)	Total N (%)	Bray-1 P
高磷堆肥	0.59 b	0.08 b	47 b
雞糞+稻殼+骨粉	0.79 a	0.09 a	60 a
乾雞糞	0.69 b	0.08 b	20 c
化學肥料	0.26 c	0.08 b	3 d
對照	0.24 c	0.06 c	0.9 d

: Values within each column followed by the same letter are not significantly different at *P*<0.05 with least significant difference.

表四、盆栽試驗各處理甘藍植體之全氮與全磷吸收量

Treatment*	N uptake (g/plant)	P uptake (g/plant)
高磷堆肥	1.53 c	0.22 c
雞糞+稻殼+骨粉	2.44 ab	0.25 b
雞糞	2.66 a	0.30 a
化學肥料	1.12 d	0.02 d
對照	0.08 e	0.002 e

: Values with columns followed by the same letter are not significantly different at *P*<0.05 with least significant difference.



圖六、盆栽試驗各處理之甘藍乾重

C(B)：高磷堆肥　　　　：雞糞
C.F.：化學肥料　　　　：骨粉
RH：稻殼

結　論

在本省農耕土壤中，強酸性土壤所佔的比例不低，欲使農業昇級，農地永續利用，強酸性土壤的改良實爲刻不容緩之事。有機質肥料的施用，具有多重之功效，唯如何有效且經濟的使用有機質肥料來增進強酸性土壤生產力，並配合適當的肥培管理，在推動「合理化施肥」及「精準農業」的今天，更顯得其重要性。

參考文獻

1. 連深。1991。酸性土壤之利用與改良。土壤管理手冊，中興大學土壤調查試驗中心出版，p.263-276。
2. 陳仁炫。1995。有機質肥料的添加對土壤磷有效性和磷礦化作用之影響。中國農業化學會誌， 33(5)：533-549。
3. 陳仁炫。1998。有機農耕法在強酸性土壤改良上之應用。土壤肥料試驗報告(86 年度)。p.226-256。台灣省政府農林廳編印。
4. 陳仁炫。2000。高磷堆肥的研製及其在強酸性土壤之肥效評估。行政院農委會委託計劃報告。
5. 陳仁炫、李俊儀。1997。堆肥施用對強酸性土壤氮有效性及氮礦化作用的影響與評估。中華農學會報，新 179：73~93。
6. 陳仁炫、翁玉娥、王銀波。1994。有機質肥料的添加對土壤磷吸附特性的影響。中國農業化學會誌， 32(3):332-346。
7. 陳仁炫、歐毓美。1996。石灰－有機質肥料－化學磷肥的交感作用對強酸性土壤磷有效性的影響。中華農學會報，新 175 期：1-20。
8. 陳仁炫。1985。台灣旱田土壤有機磷之固定及礦化潛能之研究(I)。土壤有機磷之吸附能力及吸附特性。國科會期末報告。
9. Barrow, N. J. 1989. Testing a mechanistic model. IX. Comparation between anions for sorption by soil. *J. Soil Soc.*, 40: 415-425.
10. Dalton, J. D., G. C. Russell and D. H. Sieling, 1952. Effect of organic matter on phosphate availability. *Soil Sci.*, 73: 173-181.
11. Deb, D. L. and N. P. Datta, 1967. Effect of associating anions and phosphorus retention in soils under various anion concentration. *Plant Soil*, 26: 432-443.
12. Evans, JR. A. 1985. The adsorption of inorganic phosphate by a sandy soil as influenced by dissolved organic compounds. *Soil Sci.*, 140:251-255.
13. Follet, J. W. B., C. V. Cole and J. F. Power. 1987. Soil fertility and organic matter as critical components of production system. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
14. Foth, H. D. and B. G. Ellis. 1988. Soil Fertility. John Wiley

& Sons. New York.

15. Kuo, S. 1990. Phosphate sorption implications on phosphate soil tests and uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 131-135.
16. Oslen, S. R., and S. A. Barber. 1977. Effect of waste application on soil phosphorus and potassium. In Elliotle and Stevenson(ed) "Soil for Management of Organic Waste and Waste" p.197-215. ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.
17. Sample, E. C., and R. J. Racz. 1980. Reaction of phosphate fertilizers in soils. In Khasawneh et al., (eds.) "The Role of Phosphorus in Agriculture", ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin, p. 264-272.
18. Sibanada, H. M. and S. D. Young. 1986. Competitive adsorption of humus scids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. *J. Soil Sci.*, 37: 197-204.
19. Smith, S. J., L. B. Young, and G. E. Miller. 1977. Evaluation of soil nitrogen mineralization potentials under modified field condition. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:74-76.
20. Tester, C. F. 1986. Organic amendment affects on physical and chemical properties of a sandy soil: Soil Sci. 66: 601-613.
21. Tisdale, S. L., W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizer, 4th edition. Macimillan Publishing company, New York, p. 210-211.